

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
8. Juli 2004 (08.07.2004)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2004/056498 A1

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: B06B 1/04

FORSCHUNG E.V. [DE/DE]; Hansastr. 27c, 80686 München (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2003/013856

(72) Erfinder; und

(22) Internationales Anmeldedatum:
6. Dezember 2003 (06.12.2003)

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): SALZBURGER, Hans-Jürgen [DE/DE]; Zu den Grenzsteinen 41, 66539 Neunkirchen (DE). VISKOV, Alexander [DE/DE]; Bruchwiesenanlage 4, 405/5, 66125 Saarbrücken (DE).

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(74) Anwalt: RÖSLER, Uwe; Landsberger Strasse 480a, 81241 München (DE).

(30) Angaben zur Priorität:
102 59 409.0 19. Dezember 2002 (19.12.2002) DE

(81) Bestimmungsstaaten (national): CA, US.

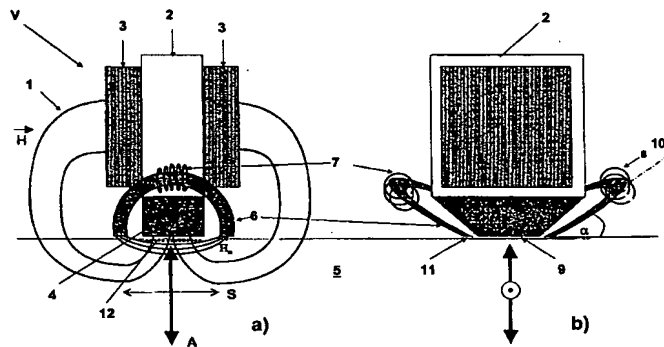
(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN

(84) Bestimmungsstaaten (regional): europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: ELECTROMAGNETIC ULTRASOUND PROBE

(54) Bezeichnung: ELEKTROMAGNETISCHER ULTRASCHALLPRÜFKOPF



(57) **Abstract:** The invention relates to an electromagnetic ultrasound probe for producing in or receiving from a workpiece (5), without using coupling agents, ultrasonic waves in the form of linearly polarized transverse waves. Said probe comprises a unit that produces the ultrasonic waves within the workpiece (5) and that further includes a transmitter coil system (7) to which an HF voltage can be applied to produce an HF magnetic field, and a premagnetizing unit (V) for producing a quasi-static magnetic field that superimposes the HF magnetic field in the workpiece (5). The probe is further provided with a unit that receives the ultrasonic waves and that has a receiver coil system (8) that is linked with an evaluation unit. The transmitter coil system (7) and the receiver coil system (8) are disposed in a toroid arrangement on at least one semicircular magnetic core (6) having two end faces (11) that can be turned to face the workpiece (5), via which end faces the HF magnetic fields can be coupled into the workpiece (5) or out of the workpiece. The invention is characterized in that the premagnetizing unit (V) is indirectly or directly contacted with the workpiece (5) via a contact surface (9) and that the at least one semicircular magnetic core (6) is disposed laterally adjacent to the contact surface (9) of the premagnetizing unit (V) in such a manner that the premagnetizing unit (V) projects from the semicircular magnetic core (6) in a manner perpendicular to the contact surface (9).

(57) **Zusammenfassung:** Beschrieben wird eine elektromagnetischer Ultraschallprüfkopf zur koppelmittelfreien Erzeugung sowie Empfang von Ultraschallwellen in Form linear polarisierter Transversalwellen in ein bzw. aus einem Werkstück (5) mit einer die Ultraschallwellen innerhalb des Werkstückes (5) erzeugenden Einheit, die eine Sendespulenordnung (7), an die zur Erzeugung eines HF-Magnetfeldes eine HF-Spannung anlegbar ist, sowie eine Vormagnetisierungseinheit (V)

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2004/056498 A1

**Veröffentlicht:**

- mit internationalem Recherchenbericht
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

zur Erzeugung eines quasistatischen Magnetfeldes aufweist, das das HF-Magnetfeld im Werkstück (5) überlagert, sowie einer die Ultraschallwellen empfangenden Einheit, die eine Empfangsspulenordnung (8) vorsieht, die mit einer Auswerteeinheit verbindbar ist, wobei die Sendespulenordnung (7) und die Empfangsspulenordnung (8) torusförmig auf wenigstens einem teilringartig ausgebildeten Magnetkern (6) angeordnet sind, der jeweils zwei dem Werkstück (5) zukehrbare Stirnflächen (11) aufweist, über die die HF-Magnetfelder in das Werkstück (5) oder aus dem Werkstück ein- bzw. auskoppelbar sind. Die Erfindung zeichnet sich dadurch aus, dass die Vormagnetisierungseinheit (V) mittel- oder unmittelbar mit dem Werkstück (5) über eine Kontaktfläche (9) kontaktierbar ist, und dass der wenigstens eine teilringartig ausgebildete Magnetkern (6) derart seitlich neben der Kontaktfläche (9) der Vormagnetisierungseinheit (V) angeordnet ist, so dass der teilringartig ausgebildete Magnetkern (6) senkrecht zur Kontaktfläche (9) von der Vormagnetisierungseinheit (V) überragbar ist.

Elektromagnetischer Ultraschallprüfkopf

Technisches Gebiet

Die Erfindung bezieht sich auf einen elektromagnetischen Ultraschallprüfkopf zur koppelmittelfreien Erzeugung sowie Empfang von Ultraschallwellen in Form linear polarisierter Transversalwellen in ein bzw. aus einem Werkstück. Ein derartiger Ultraschallprüfkopf sieht eine Ultraschallwellen innerhalb des Werkstückes erzeugende Einheit vor, mit einer Sendespulenordnung, an die zur Erzeugung eines HF-Magnetfeldes eine HF-Spannung anlegbar ist: Eine Vormagnetisierungseinheit sorgt darüber hinaus zur Erzeugung eines quasistatischen Magnetfeldes, das das HF-Magnetfeld im Werkstück überlagert. Zum Nachweis der Ultraschallwellen ist überdies eine die Ultraschallwellen empfangende Einheit vorgesehen, die eine Empfangsspulenordnung aufweist, die mit einer Auswerteeinheit verbindbar ist.

Zur Vermeidung, dass die zumeist nur filigran ausgebildeten Sendespulen- und Empfangsspulenordnungen durch unmittelbaren Kontakt mit der Werkstückoberfläche mechanischen Schaden erleiden, sind diese torusförmig auf wenigstens einem teilringartig ausgebildeten Magnetkern angeordnet, der jeweils zwei dem Werkstück zukehrbare Stirnflächen aufweist, über die die HF-Magnetfelder in das Werkstück oder aus dem Werkstück ein- bzw. auskoppelbar sind. Auf diese Weise ist es möglich die Spulenordnungen von der Werkstückoberfläche beabstandet anzuordnen, dennoch werden die für die Erzeugung sowie auch für den Nachweis von Ultraschallwellen innerhalb des Werkstückes erforderlichen HF-Magnetfelder effektiv über den teilringartig ausgebildeten Magnetkern in das Werkstück ein- bzw. aus diesem ausgekoppelt.

Derartige Ultraschall-Prüfköpfe ermöglichen die Erzeugung sowie den Empfang von linear polarisierten Transversalwellen, die senkrecht unter dem Prüfkopf in das

Werkstück abgestrahlt bzw. aus dieser Richtung empfangen werden und senkrecht zu ihrer Ausbreitungsrichtung in einer Ebene schwingen. Technische Anwendungsgebiete derartiger Ultraschall-Prüfköpfe sind bspw. die zerstörungsfreie Prüfung elektrisch leitfähiger Werkstücke auf Materialfehler, wie bspw. Risse, insbesondere senkrecht zur Polarisationsrichtung der Ultraschallwelle und parallel zur Ausbreitungsrichtung orientierte rissartige Fehler, sowie andere auf Ultraschallgeschwindigkeit und Polarisation basierende Verfahren, wie bspw. die Spannungsmessung oder insbesondere die Dickenmessung.

Stand der Technik

Die aus dem Stand der Technik bekannten koppelmittelfreien elektromagnetischen Prüfköpfe wandeln elektromagnetische Feldenergien in elastische Energie einer Ultraschallwelle und umgekehrt. Der Wandlungsmechanismus beruht hierbei auf den Wechselwirkungen zwischen dem elektromagnetischen Feld und einem elektrisch leitendem Material, das zudem durch ein von außen angelegtes statisches oder quasi statisches Magnetfeld durchsetzt wird. Der Begriff „quasi statisches“ Magnetfeld umfasst neben einem tatsächlich statischen Magnetfeld, das bspw. mittels Permanentmagnete erzeugbar ist, auch niederfrequente Magnetfelder, deren Wechselfrequenz sehr viel kleiner ist als die Hochfrequenz, mit der die Sendespulenordnung zur Erzeugung von Hochfrequenzfeldern betrieben wird.

Zur Anregung von Ultraschallwellen innerhalb eines elektrisch leitenden Werkstückes wird zumindest ein Teil des von der Hochfrequenzspulenordnung erzeugten hochfrequenten Magnetfeldes, dessen Frequenzbereich innerhalb des Ultraschall-Frequenzbereiches liegt, in das Werkstück eingekoppelt, innerhalb der sogenannten Skintiefe Wirbelströme erzeugt werden, die zusammen mit dem „quasi statischen“ Magnetfeld aufgrund von Lorentz-Kräften oder Magnetostruktionen innerhalb des Werkstückes Ultraschallwellen erzeugen.

Der Nachweis von innerhalb des Werkstückes auftretenden Ultraschallwellen erfolgt in umgekehrter Weise über die Detektion der induzierten elektrischen Spannung innerhalb der Empfangsspulenordnung, die durch HF-Felder bewirkt wird, die

wiederum durch Ultraschallwellen bedingte Bewegungen elektrischer Ladungen im Werkstück innerhalb des „quasi statischen“ Magnetfeldes hervor gerufen werden.

Allen bekannten elektromagnetischen Ultraschallwandlern liegt das gemeinsame Entwicklungsziel zugrunde, die Messempfindlichkeit und damit verbunden die mit den Sende- und Empfangsspulenordnungen erzeugbaren Signalamplituden sowohl im Sende- als auch im Empfangssignal zu optimieren. Hierbei gilt es zum einen, den Koppelmechanismus, mit dem die erzeugten und nachzuweisenden HF-Felder zwischen dem Ultraschallwandler und dem Werkstück ein- und ausgekoppelt werden, möglichst verlustfrei zu gestalten und zum anderen die Feldstärke des quasistatischen Magnetfeldes, die für die Erzeugung und für den Nachweis von Ultraschallwellen massgeblich ist, möglichst groß zu wählen.

Aus der DE 42 23 470 C2 geht ein gattungsgemäßer elektromagnetischer Prüfkopf für die Senkrechteinschallung von linear polarisierten Transversalwellen hervor, bei dem die HF-Magnetfelder zwischen dem Prüfkopf und dem Werkstück auf höchst effiziente Weise ein- bzw. ausgekoppelt werden, ohne dabei, wie es bei einer Vielzahl anderer Prüfköpfe der Fall ist, die zumeist als HF-Luftspulen ausgebildeten Sende- und Empfangsspulenordnungen unmittelbar auf der Werkstückoberfläche aufliegend anzuordnen. Vielmehr sieht der in der vorstehenden Druckschrift beschriebene elektromagnetische Prüfkopf gemäß Figur 2 einen halb offen ausgebildeten, kommerziell aus amorphen Bandmaterial gefertigten Ringbandkern 6 vor, der jeweils von einer Sende- 7 sowie von einer Empfangsspulenordnung 8 umwickelt ist. Die Stirnflächen 11 des halb offen ausgebildeten Ringbandkerns 6 dienen als Koppelflächen für die HF-Magnetfelder und sind in geeigneter Weise auf die Oberfläche des zu untersuchenden Werkstückes 5 auflegbar. Die durch die HF-Sendespulenordnung 7 erzeugten HF-Magnetfelder gelangen über die Stirnflächen 11 des Ringbandkerns 6 in das Werkstück 5 und vermögen oberflächennahe Wirbelströme 12 innerhalb der Skintiefe des Werkstückes 5 zu induzieren.

Das zur Schallwandlung notwendige senkrecht zur Oberfläche des Werkstückes 5 orientierte quasistatische Magnetfeld wird mittels zweier gleichnamiger Permanentmagnete 3 erzeugt und über einen, im Inneren des Ringbandkerns vorgesehenen Weicheisenkern 2 zur Materialoberfläche des Werkstückes 5 geführt. Hierbei befindet sich die für die Ausbildung des senkrecht zur Werkstückoberfläche orientierten „quasistatischen“ Magnetfeldes erforderliche Vormagnetisierungseinheit innerhalb des offenen Teils des Ringbandkerns.

Nachteilhaft bei der vorstehend beschriebenen Ausführungsform für einen elektromagnetischen Prüfkopf sind die nur geringen mit dem Prüfkopf erzielbaren Signalstärken für die Erzeugung sowie den Nachweis von Ultraschallwellen. So lassen sich aufgrund des konstruktiv vorgegebenen geringen Volumens der Vormagnetisierungseinheit keine größeren magnetischen Flüsse erzeugen.

Neben der vorstehenden Druckschrift gehen aus der DE 36 37 366 A1 sowie der DE 195 49 207 A1 Prüfköpfe zur zerstörungsfreien Prüfung hervor, die jedoch über einen anderen Aufbau verglichen zu dem vorstehend beschriebenen verfügen. So ist der DE 36 37 366 A1 ein elektromagnetischer Ultraschallwandler entnehmbar, dessen HF-Sende- und Empfangsspulenordnung längs einer rippenartigen Trägerstruktur aufgebracht sind, die von einer Magnetanordnung zur Erzeugung des quasistatischen Magnetfeldes überragt ist. Aus der DE 195 49 207 A1 ist ein entsprechender Prüfkopf zu entnehmen, der zwar ein Magnetfeld konzentrierendes Element aufweist, sich jedoch in allen anderen Details von der eingangs beschriebenen Vorrichtung unterscheidet.

Darstellung der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen gattungsgemäßen elektromagnetischen Ultraschallprüfkopf derart weiterzubilden, dass die mit dem Prüfkopf innerhalb eines Werkstückes erzeugbaren linear polarisierten Transversalwellen höhere Signalamplituden aufweisen sollen, als es mit den bisherigen Prüfköpfen der Fall ist. Insbesondere soll die Nachweisempfindlichkeit

derartiger Prüfköpfe gesteigert werden, ohne dabei die für die Erzeugung sowie für den Empfang von Ultraschallwellen innerhalb eines Werkstückes erforderlichen HF-Spulenordnungen nahe an der Werkstückoberfläche platzieren zu müssen.

Die Lösung der der Erfindung zugrunde liegenden Aufgabe ist im Anspruch 1 angegeben. Den Erfindungsgedanken vorteilhaft weiterbildende Merkmale sind in den Unteransprüchen sowie der Beschreibung zu entnehmen.

Der Erfindung liegt die Idee zugrunde, ausgehend von dem elektromagnetischen Prüfkopf gemäß der DE 42 23 470 C2 eine gezielte Möglichkeit zur Vergrößerung des Bauvolumens der für das „quasi statische“ Magnetfeld erforderlichen Vormagnetisierungseinheit anzugeben. Durch die bauliche Vergrößerung der Vormagnetisierungseinheit gelingt es die Stärke des senkrecht in das Werkstück eintretende „quasi statischen“ Magnetfeldes zu erhöhen, so dass die für die Erzeugung von Ultraschallwellen innerhalb des Werkstückes verantwortlichen Lorentz-Kräfte oder Magnetostriktionen vergrößert werden, wodurch letztlich Ultraschallwellen größerer Amplituden entstehen.

In umgekehrter Weise führt die konstruktionsbedingte Magnetfeldsteigerung des innerhalb des Werkstückes eintretenden „quasi statischen“ Magnetfeldes zur Ausbildung stärkerer HF-Felder, die durch Ultraschallwellen bedingte Ladungsauslenkungen innerhalb des Werkstückes in Gegenwart des quasistatischen Magnetfeldes erzeugt und über die Stirnflächen in den Ringbandkern eingekoppelt werden. Diese HF-Felder vermögen nun in der Empfangsspulenordnung höhere elektrische Spannungen zu induzieren, wodurch letztlich die Nachweisempfindlichkeit des elektromagnetischen Ultraschallwandlers entscheidend verbessert werden kann.

Erfindungsgemäß sieht hierbei ein elektromagnetischer Ultraschallprüfkopf gemäß des Oberbegriffes des Patentanspruches 1 eine mittel- oder unmittelbar mit dem Werkstück über eine Kontaktfläche kontaktierbare Vormagnetisierungseinheit auf, die seitlich neben dem wenigstens einen teilringartig ausgebildeten Magnetkern, der vorzugsweise in Form eines Ringbandkerns ausgebildet ist, derart angeordnet ist, so

dass der teilringartig ausgebildete Magnetkern senkrecht zur Kontaktfläche von der Vormagnetisierungseinheit überragbar ist.

Im Unterschied zu der vorstehend zitierten DE 42 23 470 C2 wird die Vormagnetisierungseinheit anordnungsbedingt nicht von dem vorzugsweise halboffen ausgebildeten Ringbandkern überragt, vielmehr befindet sich dieser seitlich unmittelbar neben der Vormagnetisierungseinheit ohne dabei die Vormagnetisierungseinheit oder auch nur Teile von dieser in Projektion zur Oberfläche des Werkstückes zu überragen.

In einer bevorzugten Ausführungsform ist der als Ringbandkern ausgeführte, teilringartig ausgebildete Magnetkern in Bezug auf seine Teilringebene um einen Winkel α zur Kontaktfläche geneigt angeordnet. Hierbei schließen die beiden, dem Werkstück zugewandten Stirnflächen des Ringbandkerns ebenso den Winkel α mit der Teilringebene ein, so dass der Ringbandkern weitgehend bündig über die Stirnflächen auf dem Werkstück aufliegt. Die Neigung der Teilringebene des Ringbandkerns ist vorzugsweise derart zur Kontaktfläche ausgebildet, so dass sich die über die Stirnflächen in das Werkstück einkoppelbaren HF-Magnetfelder in den Bereich unterhalb der Kontaktfläche zwischen der Vormagnetisierungseinheit und dem Werkstück erstrecken und somit in Wechselwirkung mit dem quasistatischen Magnetfeld innerhalb des Werkstückes zur Ausbildung von Wirbelströmen treten.

Durch die seitliche Anordnung wenigstens eines teilringartig ausgebildeten Magnetkerns relativ zur Kontaktfläche zwischen der Vormagnetisierungseinheit und dem Werkstück ist es möglich, die Vormagnetisierungseinheit, bspw. in Form eines oder mehrerer Permanentmagnete beliebig groß, insbesondere in senkrechter Erstreckung zur Kontaktfläche beliebig hoch auszubilden, um auf diese Weise ein gewünschtes starkes „quasi statisches“ Magnetfeld zu erzeugen. Der Größenskalierung für die Vormagnetisierungseinheit sind durch die senkrecht zur Kontaktfläche nach oben offene Bauform der Ultraschallwandler-Anordnung grundsätzlich keine Grenzen gesetzt, lediglich Aspekte bezüglich der Handhabung der Anordnung können die Baugröße beschränken.

In Anlehnung an die in der DE 42 23 470 C2 bekannten Anordnung für einen elektromagnetischen Ultraschallwandler sieht eine einfache Ausführungsform den Einsatz nur eines einzigen Ringbandkerns vor, längs dem sowohl eine HF-Spulenordnung für die Sende- als auch für die Empfangseinrichtung umwickelt ist.

Ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel sieht jedoch zwei als Ringbandkerne ausgeführte teilringartig ausgebildete Magnetkerne vor, die in Bezug zur Kontaktfläche und somit relativ zur Vormagnetisierungseinheit auf gegenüberliegenden Seiten angeordnet sind. Aus Gründen einer getrennten Signalführung und damit der Vermeidung einer gegenseitigen Beeinflussung von Sende- und Empfangssignalen sind die Sendespulenordnung und Empfangsspulenordnung getrennt voneinander jeweils auf der Vormagnetisierungseinheit gegenüber befindlichen Ringbandkernen angeordnet. Eine derartig getrennte Spulenordnung auf zwei getrennten Ringbandkernen verhilft vornehmlich der Reduzierung sogenannter Totzeiten, die auftreten, wenn sich Sende- und Empfangsspulenordnung auf ein und demselben Ringbandkern angeordnet sind. Dies führt letztlich dazu, dass in jenen kurzen Zeitabschnitten, in denen die Sendespulenordnung den Ringbandkern in eine Sättigungsmagnetisierung überführt, der Ringbandkern keine Empfangssignale zu detektieren vermag. Wird der Ultraschallwandler bspw. zur Dickenmessung eingesetzt, so führen diese Sättigungseffekte dazu, dass Totzonen entstehen, die für die Dickenmessung unzugänglich sind, d.h. durch die zeitliche unmittelbare Abfolge von Sende- und Empfangssignalen können Empfangssignale aufgrund des Sättigungseffektes erst nach einem zeitlichen Mindestabstand zum Sendesignal detektiert werden. Somit lassen sich Werkstücke erst ab einer Werkstückdicke von 3 - 4 mm Dicke erfassen.

Eine weitere Ausführungsform sieht die Anordnung zweier Ringbandkern-Paare vor, die jeweils in Orthogonalstellung zueinander um die Kontaktfläche, die vorzugsweise rechteckig ausgebildet ist, angeordnet sind. Auf diese Weise lassen sich innerhalb des Werkstückes jeweils zwei linear polarisierte Transversalwellenfelder erzeugen

mit jeweils senkrecht zueinander orientierten Schwingungsebenen. Auf diese Weise lassen sich Materialfehler, bspw. in Form von Rissen, deren Rissverläufe entweder senkrecht zur einen oder anderen Schwingungsebene orientiert sind, exakt erfassen.

Für eine möglichst effiziente, d.h. verlustarme, und konzentrierte Einkopplung des „quasi statischen“ Magnetfeldes in das zu untersuchende Werkstück sieht eine Ausführungsform den Einsatz zweier gleichpoliger Permanentmagnete vor, die gemeinsam von einem aus weichmagnetischen Material gefertigten Werkstück zumindest teilweise umschlossen sind, das zu Seiten des Werkstückes mit einem Konzentrator verbunden ist, der seinerseits ebenfalls auch weichmagnetisches Material enthält, um den magnetischen Fluß auf die Kontaktfläche zu konzentrieren. Der Konzentrator selbst weist zwei unterschiedlich groß ausgebildete, gegenüberliegende Flächen auf, von denen die größere Fläche mit dem weichmagnetischen Werkstoff verbunden ist, der die Permanentmagnete zumindest teilweise umschließt, und von denen die kleinere Fläche dem zu untersuchenden Werkstück zugewandt ist und die Größe der Kontaktfläche zwischen der Vormagnetisierungseinheit und dem Werkstoff definiert. Vorzugsweise ist die Kontaktfläche, wie bereits erwähnt, rechteckförmig ausgebildet. längs derer wenigstens zwei sich gegenüberliegenden Seitenkanten die schräg zur Kontaktfläche geneigten Ringbandkerne angeordnet sind.

Um eine störende Wirbelstromeinkopplung durch die erzeugten HF-Felder innerhalb des Konzentrators aufgrund der räumlichen Nähe zu den die HF-Felder führenden Ringbandkernen zu vermeiden, ist der Konzentrator nicht aus einem homogenen elektrisch leitfähigen Material gefertigt, sondern besteht entweder aus einem elektrisch nicht leitfähigem Material, in das ferromagnetische Partikel matrixartig eingebracht sind, um den magnetischen Fluß zu leiten und zu konzentrieren oder aber der Konzentrator ist vergleichsweise dem Magnetkern eines Transformators aufgebaut und besteht aus einer Vielzahl stapelartig zusammengefügter Metallplatten.

Kurze Beschreibung der Erfindung

Die Erfindung wird nachstehend ohne Beschränkung des allgemeinen Erfindungsgedankens anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die Zeichnungen exemplarisch beschrieben. Es zeigen:

- Fig. 1a, b Seiten- und Vorderansicht eines erfindungsgemäß ausgebildeten elektromagnetischen Ultraschallwandlers sowie
- Fig. 2 elektromagnetischer Ultraschallwandler gemäß Stand der Technik.

Wege zur Ausführung der Erfindung, gewerbliche Verwendbarkeit

Die Figuren 1a und 1b zeigen die Seiten- und Vorderansicht eines Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäß ausgebildeten elektromagnetischen Ultraschallwandlers. Dieser besteht aus einer Vormagnetisierungseinheit V zur Erzeugung eines ausreichend starken, senkrecht in den zu prüfenden Werkstoff W eintretenden statischen Magnetfeldes 1. Die Vormagnetisierungseinheit V weist zwei gleichnamig gepolte Permanentmagnete 3 auf, die von einem weichmagnetischen Werkstoff 2 wenigstens teilweise umschlossen sind, über den der magnetische Fluss H über einen mit dem Werkstoff 2 verbundenen Konzentrator 4 senkrecht zur Oberfläche des Werkstückes 5 in das Werkstück 5 eingeleitet wird.

Aus der Vorderansicht gemäß Figur 1b ist ersichtlich, dass der Konzentrator 4 eine zur Kontaktfläche 9 zwischen der Vormagnetisierungseinheit V und der Werkstückoberfläche verjüngend zulaufende Form besitzt, wodurch der im Inneren des Konzentrators 4 geführte magnetische Fluss H auf die eng begrenzte Kontaktfläche 8 konzentriert wird.

Rechts und links zu Seiten des Konzentrators 4 ist je ein halb offener Ringbandkern 6 angeordnet. Auf einem der Ringbandkerne 6 ist die Sendespulenordnung 7, auf dem anderen die Empfangsspulenordnung 8 aufgebracht. Die Ringbandkerne 6 sind bezüglich ihrer Teilringebenen 10 zur Kontaktfläche 9 derart geneigt, so dass zum einen gewährleistet ist, dass die Vormagnetisierungseinheit V eine die

Ringbandkerne 6 beliebig senkrecht zur Kontaktfläche 9 überragende Bauhöhe annehmen kann, zum anderen dass die Spulenanordnungen 7, 8 von der Werkstückoberfläche beabstandet sind, wodurch diese keinerlei mechanischen Verschleiß durch unmittelbaren Kontakt mit der Werkstückoberfläche unterliegen.

Um zu gewährleisten, dass die HF-Magnetfelder von bzw. zu den einzelnen HF-Spulenanordnungen 7, 8 weitgehend verlustfrei über die Werkstückoberfläche in das Werkstück 5 einkoppelbar sind, schließen die Stirnflächen 11 der Ringbandkerne 6 mit der jeweiligen Teilringebene 10 ebenso den Winkel α ein, der grundsätzlich zwischen 0° und 90° gewählt werden kann, vorzugsweise jedoch zwischen 30° und 60° beträgt. Auf diese Weise ist gewährleistet, dass trotz Schrägstellung der Ringbandkerne 6 die Stirnflächen 11 bündig zu Seiten der Kontaktfläche 9 auf der Werkstückoberfläche des Werkstückes 5 aufliegen und eine weitgehend verlustfreie Ein- bzw. Auskopplung der HF-Magnetfelder möglich wird.

Zur Ultraschallwellenanregung wird die Sendespulenanordnung 7, die üblicherweise mit einem HF-Generator verbunden ist, mit einem HF-Stromburst-Signal gespeist. Der von der Sendespulenanordnung 7 erzeugte magnetischer Wechselstrom H_w gelangt über den Ringbandkern 6 und über einen kleinen, zwischen den Stirnflächen 11 und der Werkstückoberfläche eingeschlossenen Luftspalt in das Werkstück 5. Zwischen den Stirnflächen 11 der die Sendespulenanordnung 7 tragenden Ringbandkerns bildet sich innerhalb der Skintiefe des Werkstückes ein räumlich homogenes magnetisches Wechselfeld H_w aus. Die mit dem magnetischen Wechselfeld H_w innerhalb des Werkstückes 5 gekoppelten Wirbelströme werden von dem über den Konzentrator 4 senkrecht in das Werkstück 5 eintretenden magnetischen Gleichfeld überlagert, wodurch aufgrund der sich ausbildenden Lorentz-Kräfte sowie Magnetostriktionen senkrecht zur Richtung der Wirbelströme schwingende und senkrecht zur Werkstückoberfläche bzw. zur Kontaktfläche 9 sich ausbreitende Ultraschall-Transversalwellen erzeugt werden. Durch die Pfeildarstellungen ist die Schwingungsrichtung S sowie die Ausbreitungsrichtung A der Ultraschall-Transversalwellen gekennzeichnet.

Der Empfangsmechanismus zum Nachweise des sich innerhalb des Werkstückes ausbreitenden Ultraschallwellen beruht auf dem umgekehrten Effekt, nämlich die sich innerhalb des Werkstückes ausbildende Schallschnelle der zum Prüfkopf zurückkommenden Ultraschallwelle erzeugt in Wechselwirkung mit dem statischen Magnetfeld ein elektrisches Feld, das über den Ringbandkern 6 zur Empfangsspulenanordnung 8 geleitet eine elektrische Spannung in dieser induziert. Die in der Empfangsspulenanordnung 8 induzierte elektrische Spannung kann üblicherweise mit einem nachgeschalteten Verstärker verstärkt und entsprechend mit einer Auswerteeinheit ausgewertet werden.

Der erfindungsgemäß ausgebildete elektromagnetische Ultraschallwandler vereint somit die Vorteile in Bezug auf eine möglichst verlustfreie Ein- sowie Auskopplung von für die Erzeugung bzw. Detektion erforderlichen HF-Magnetfeldern in bzw. aus dem zu untersuchenden Werkstück. Hierbei sind in vorteilhafter Weise die für die Erzeugung und für den Empfang notwendigen Spulenanordnungen von der Werkstückoberfläche beabstandet angeordnet, so dass sie keinerlei mechanischem Verschleiß unterliegen. Zudem bietet die erfindungsgemäß ausgebildete Anordnung eine nahezu beliebig vornehmbare Skalierbarkeit der Vormagnetisierungseinheit, um die Magnetfeldstärke des „quasi statischen“ Magnetfeldes in gewünschter Weise zu optimieren. Diese Maßnahme führt letztlich zur Ausbildung großer Signalamplituden für die Ausbildung starker Ultraschallwellen innerhalb des Werkstückes, wodurch die Nachweisempfindlichkeit des elektromagnetischen Ultraschallwandlers entscheidend verbessert werden kann. Grenzen für die Skalierbarkeit der Vormagnetisierungseinheit sind lediglich durch Anforderung im Hinblick auf Handhabbarkeit gesetzt.

Bezugszeichenliste

- 1 „quasi statisches“ Magnetfeld
- 2 weichmagnetischer Werkstoff
- 3 Permanentmagnete
- 4 Konzentrator
- 5 Werkstück
- 6 Ringbandkern
- 7 Sendespulenordnung
- 8 Empfangsspulenordnung
- 9 Kontaktfläche
- 10 Teilringebene
- 11 Stirnflächen
- 12 Wirbelströme
- S Schwingungsrichtung
- V Vormagnetisierungseinheit
- A Ausbreitungsrichtung

Patentansprüche

1. Elektromagnetischer Ultraschallprüfkopf zur koppelmittelfreien Erzeugung sowie Empfang von Ultraschallwellen in Form linear polarisierter Transversalwellen in ein bzw. aus einem Werkstück (5) mit

- einer die Ultraschallwellen innerhalb des Werkstückes (5) erzeugenden Einheit, die eine Sendespulenordnung (7), an die zur Erzeugung eines HF-Magnetfeldes eine HF-Spannung anlegbar ist, sowie eine Vormagnetisierungseinheit (V) zur Erzeugung eines quasistatischen Magnetfeldes aufweist, das das HF-Magnetfeld im Werkstück (5) überlagert, sowie
- einer die Ultraschallwellen empfangenden Einheit, die eine Empfangsspulenordnung (8) vorsieht, die mit einer Auswerteeinheit verbindbar ist, wobei

die Sendespulenordnung (7) und die Empfangsspulenordnung (8) torusförmig auf wenigstens einem teilingartig ausgebildeten Magnetkern (6) angeordnet sind, der jeweils zwei dem Werkstück (5) zukehrbare Stirnflächen (11) aufweist, über die die HF-Magnetfelder in das Werkstück (5) oder aus dem Werkstück ein- bzw. auskoppelbar sind,

dadurch **gekennzeichnet**, dass die Vormagnetisierungseinheit (V) mittel- oder unmittelbar mit dem Werkstück (5) über eine Kontaktfläche (9) kontaktierbar ist, und dass der wenigstens eine teilingartig ausgebildete Magnetkern (6) derart seitlich neben der Kontaktfläche (9) der Vormagnetisierungseinheit (V) angeordnet ist, so dass der teilingartig ausgebildete Magnetkern (6) senkrecht zur Kontaktfläche (9) von der Vormagnetisierungseinheit (V) überragbar ist.

2. Elektromagnetischer Ultraschallprüfkopf nach Anspruch 1, dadurch **gekennzeichnet**, dass die Vormagnetisierungseinheit (V) ein quasistatisches Magnetfeld erzeugt, dessen Magnetfeldlinien die Kontaktfläche (9) weitgehend senkrecht durchsetzen.

3. Elektromagnetischer Ultraschallprüfkopf nach Anspruch 1 oder 2, dadurch **gekennzeichnet**, dass die Vormagnetisierungseinheit (V) wenigstens einen, vorzugsweise zwei gleichpolige Permanentmagnete (3) vorsieht, deren Magnetfeldlinien vermittels eines Konzentrators (4) auf die Kontaktfläche (9) konzentrierbar sind.
4. Elektromagnetischer Ultraschallprüfkopf nach Anspruch 3, dadurch **gekennzeichnet**, dass der wenigstens eine Permanentmagnet (3) zumindest teilweise von einem weichmagnetischen Werkstück (2) umschlossen ist, das die Magnetfeldlinien auf den Konzentrator (4) bündelt.
5. Elektromagnetischer Ultraschallprüfkopf nach Anspruch 4 oder 5, dadurch **gekennzeichnet**, dass der Konzentrator (4) aus weichmagnetischen Material besteht und zwei sich gegenüberliegende Flächen aufweist, von denen eine größer als die andere ist und die kleinere Fläche die Größe der Kontaktfläche (9) vorgibt und die größere Fläche mit dem weichmagnetischen Werkstück (2) verbunden ist.
6. Elektromagnetischer Ultraschallprüfkopf nach Anspruch 5, dadurch **gekennzeichnet**, dass der Konzentrator (4) elektrisch nicht leitendes Material aufweist, in das ferromagnetische Partikel matrixartig eingebettet sind, oder dass der Konzentrator (4) aus einer stapelförmigen Anordnung einzelner Metallplatten besteht.
7. Elektromagnetischer Ultraschallprüfkopf nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch **gekennzeichnet**, dass der wenigstens eine teilringartig ausgebildete Magnetkern (6) eine Teilringebene (10) aufweist, die mit der Kontaktfläche (9) einen Winkel α mit $0^\circ < \alpha < 90^\circ$, vorzugsweise $30^\circ < \alpha < 60^\circ$; einschließt, und dass die Stirnflächen (11) des teilringartig ausgebildeten Magnetkerns (6) den Winkel α mit der Teilringebene (10) einschliessen.

8. Elektromagnetischer Ultraschallprüfkopf nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch **gekennzeichnet**, dass wenigstens zwei teilringartig ausgebildete Magnetkerne (6) vorgesehen sind, von denen einer die Sendespulenordnung (7) und der andere die Empfangsspulenordnung (8) vorsieht, und dass die teilringartig ausgebildeten Magnetkerne (6) relativ zur Vormagnetisierungseinheit (V) auf gegenüberliegende Seiten angeordnet sind.
9. Elektromagnetischer Ultraschallprüfkopf nach Anspruch 8, dadurch **gekennzeichnet**, dass die teilringartig ausgebildeten Magnetkerne (6) achssymmetrisch zu einer die Vormagnetisierungseinheit (V) durchsetzenden Symmetrieachse angeordnet sind, und dass die Teilringebenen (10) der teilringartig ausgebildeten Magnetkerne (6) jeweils den Winkel α mit der Kontaktfläche (9) einschließen.
10. Elektromagnetischer Ultraschallprüfkopf nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch **gekennzeichnet**, dass der wenigstens eine teilringartig ausgebildete Magnetkern (6) als Ringbandkern ausgebildet ist.

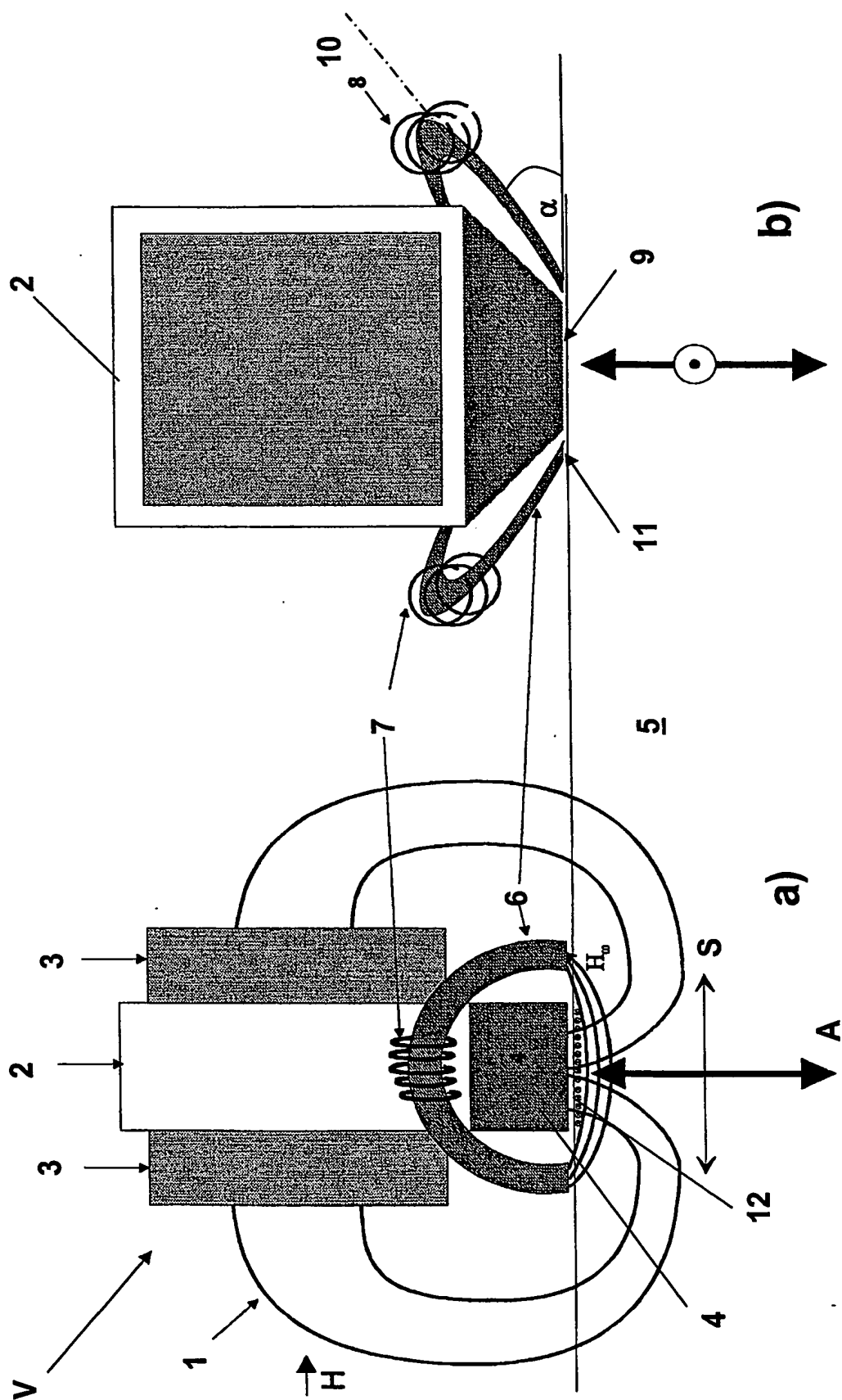


Fig. 1

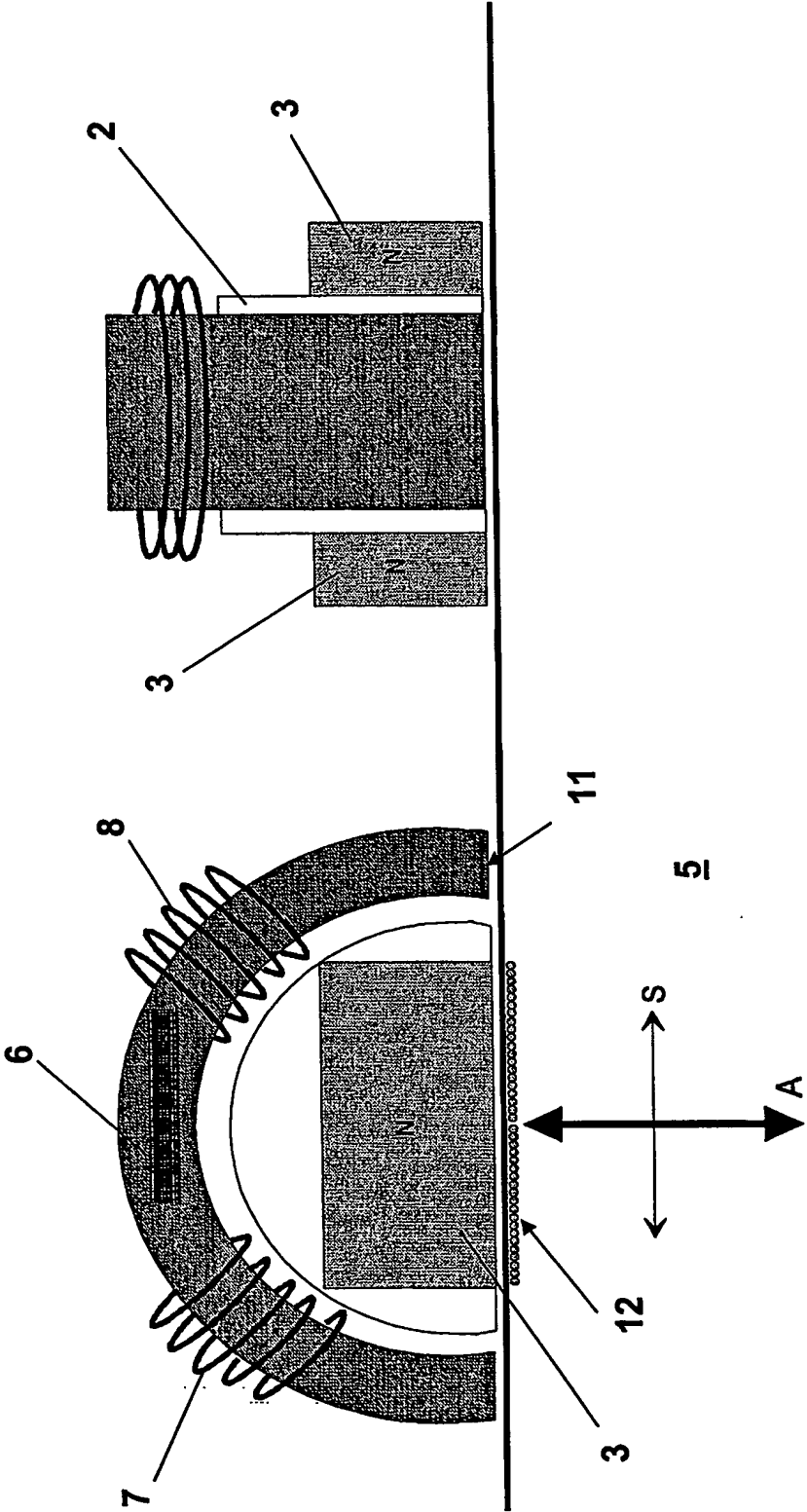


Fig. 2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.

PCT/EP 03/13856

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 B06B1/04

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 B06B G01N

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 6 009 756 A (BARBIAN OTTO-ALFRED ET AL) 4 January 2000 (2000-01-04) column 8, line 56 -column 9, line 10 figure 5	1-10
A	EP 0 579 255 A (FRAUNHOFER GES FORSCHUNG) 19 January 1994 (1994-01-19) cited in the application column 6, line 37 -column 7, line 6 figures 5-7	1-10
A	EP 0 440 317 A (MANNESMANN AG) 7 August 1991 (1991-08-07) page 4, line 47 -page 5, line 38 figures 3,4	1-10
	-/-	

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"Z" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

13 May 2004

Date of mailing of the international search report

21/05/2004

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Modesto, C

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP 03/13856

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DE 39 35 432 A (MANNESMANN AG) 25 April 1991 (1991-04-25) column 5, line 11 -column 7, line 10 figures 1-8	1-10
A	PETERSEN G L ET AL: "RESONANCE TECHNIQUES AND APPARATUS FOR ELASTIC-WAVE VELOCITY DETERMINATIO IN THIN METAL PLATES" REVIEW OF SCIENTIFIC INSTRUMENTS, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS. NEW YORK, US, vol. 65, no. 1, 1994, pages 192-198, XP000428565 ISSN: 0034-6748 the whole document	1-10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP 03/13856

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 6009756	A	04-01-2000	DE 19543481 A1	28-05-1997
			CA 2209899 A1	29-05-1997
			WO 9719346 A1	29-05-1997
			EP 0775910 A1	28-05-1997
			JP 10512967 T	08-12-1998
			NO 964932 A	23-05-1997
EP 0579255	A	19-01-1994	DE 4223470 A1	20-01-1994
			DE 59301534 D1	14-03-1996
			EP 0579255 A2	19-01-1994
EP 0440317	A	07-08-1991	DE 4101942 A1	08-08-1991
			DE 59101051 D1	07-04-1994
			EP 0440317 A1	07-08-1991
DE 3935432	A	25-04-1991	DE 3935432 A1	25-04-1991

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 03/13856

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

IPK 7 B06B1/04

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 B06B G01N

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 6 009 756 A (BARBIAN OTTO-ALFRED ET AL) 4. Januar 2000 (2000-01-04) Spalte 8, Zeile 56 -Spalte 9, Zeile 10 Abbildung 5	1-10
A	EP 0 579 255 A (FRAUNHOFER GES FORSCHUNG) 19. Januar 1994 (1994-01-19) in der Anmeldung erwähnt Spalte 6, Zeile 37 -Spalte 7, Zeile 6 Abbildungen 5-7	1-10
A	EP 0 440 317 A (MANNESMANN AG) 7. August 1991 (1991-08-07) Seite 4, Zeile 47 -Seite 5, Zeile 38 Abbildungen 3,4	1-10
	-/-	

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

E älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

L Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

O Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

P Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

g Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

13. Mai 2004

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

21/05/2004

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Modesto, C

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	DE 39 35 432 A (MANNESMANN AG) 25. April 1991 (1991-04-25) Spalte 5, Zeile 11 -Spalte 7, Zeile 10 Abbildungen 1-8	1-10
A	PETERSEN G L ET AL: "RESONANCE TECHNIQUES AND APPARATUS FOR ELASTIC-WAVE VELOCITY DETERMINATION IN THIN METAL PLATES" REVIEW OF SCIENTIFIC INSTRUMENTS, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS. NEW YORK, US, Bd. 65, Nr. 1, 1994, Seiten 192-198, XP000428565 ISSN: 0034-6748 das ganze Dokument	1-10

INTERNATIONALER RESEARCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationaler Aktenzeichen

PCT/EP 03/13856

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
US 6009756	A	04-01-2000	DE	19543481 A1	28-05-1997
			CA	2209899 A1	29-05-1997
			WO	9719346 A1	29-05-1997
			EP	0775910 A1	28-05-1997
			JP	10512967 T	08-12-1998
			NO	964932 A	23-05-1997
EP 0579255	A	19-01-1994	DE	4223470 A1	20-01-1994
			DE	59301534 D1	14-03-1996
			EP	0579255 A2	19-01-1994
EP 0440317	A	07-08-1991	DE	4101942 A1	08-08-1991
			DE	59101051 D1	07-04-1994
			EP	0440317 A1	07-08-1991
DE 3935432	A	25-04-1991	DE	3935432 A1	25-04-1991